

Ю. З. КУЛАГИН

**О ФИТОТОКСИЧНОСТИ ПОЧВ, ИЗМЕНЕННЫХ ПРОМЫШЛЕННЫМИ
ДЫМОВЫМИ ВЫБРОСАМИ НА УРАЛЕ**

При решении проблемы оздоровления атмосферного воздуха, загрязненного газопылевыми отходами промышленности, основное значение имеет внедрение современных и надежных высокоэффективных газо- и пылеуловителей.

Санитарно-защитные лесополосы, располагаемые в зонах загрязнения и на пути движения газопылевых выбросов, в связи с относительно ограниченной устойчивостью растений к токсичным соединениям и газопоглолительной и пылезадерживающей способностью, призваны только дополнять технологический способ борьбы с задымлением, выполняя функцию доочистки атмосферы. Можно утверждать, что чем ниже уровень загрязненности атмосферы, тем выше итоговая эффективность древесных насаждений в локализации и нейтрализации токсичных комплексов газодымовых выбросов. Однако последние, помимо отравляющего воздействия на растение, оказывают еще и неблагоприятное влияние на почву, подчас существенно ухудшая лесорастительные условия. Необходимо оценить эффект такого влияния на древесные насаждения в условиях Урала, тем более, что в литературе этот вопрос почти не освещен.

В статье излагаются результаты исследований автора, выполненных в горнозаводских районах Южного Урала. Были обследованы лесные насаждения в окрестностях медеплавильного завода, расположенного в подзоне сосново-березовых лесов, и магнезитового завода, находящегося в подзоне хвойно-широколиственных и южно-таежных хвойных лесов (Колесников, 1961). Основное внимание уделено сосне обыкновенной, лиственнице Сукачева и березе бородавчатой как основным лесообразующим видам Урала в их отношении к почвам, измененным в связи с поступлением в них из атмосферы двуокиси серы и окиси магния.

Длительное, более полустолетия, воздействие дымовых выбросов медеплавильного завода в сочетании с комплексом других неблагоприятных антропогенных воздействий (интенсивный выпас скота, рубки, строительство) привело к почти полному уничтожению сосновых и березовых лесов в радиусе до 1—1,5 км от очага загрязнения. Возникли значительные площади эродированных поверхностей на горных склонах. Уцелевшие от рубок небольшие

участки сосняков испытывают угнетение от заводских дымов, в составе которых преобладает двуокись серы, и постепенно отмирают (рис. 1). Однако береза бородавчатая, несмотря на ежегодные газовые ожоги листьев, растет относительно успешно и даже проявляет способность к семенному размножению. По мере удаления от завода состояние лесов постепенно улучшается. Так, в интервале 1,5—3 км к западу, югу и северу и 2,5—5 км к востоку, северо-востоку и юго-востоку от очага загрязнения распространены производные березняки вейниковые, в которых встречается самосев сосны. Еще далее расположены сомкнутые массивы сосновых лесов с постепенно снижающимися показателями газовых ожогов крон у деревьев и более четким проявлением флористических и фитоценологических признаков, присущих коренным типам леса, растущим вне воздействия задымления. Сравнительное сопоставление данных химического анализа почв и показателей роста деревьев в насаждениях, расположенных на разном расстоянии от очагов загрязнения, позволяют оценить адаптационные возможности видов древесных растений к разной степени загрязнения и видоизменения почв.

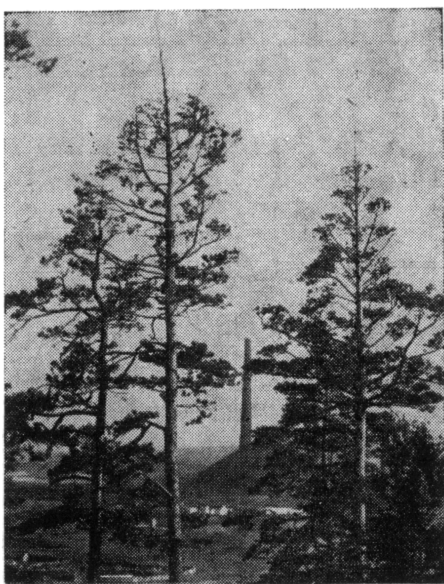


Рис. 1. Отмирание вершин крон у 70—90-летних деревьев сосны в 0,5 км от медеплавильного завода.

В связи с подкисляющим воздействием на почву двуокиси серы возникает вопрос об особенностях влияния на рост лесных деревьев почвенной среды с повышенной кислотностью и обеднения ее кальцием и магнием. Напомним, что характерной особенностью почвоподстилающих горных пород рассматриваемого района является высокое содержание в них магния в связи с широким распространением серпентинитов (Богатырев, 1940). Наши определения (1961—1963 гг) кислотности рН электрометрически, содержания кальция и магния — трилонометрическим методом и гидролитической кислотности — обычным методом (см.: Агрохимический метод, 1954) показали заметные сдвиги в химизме почв под влиянием систематического поступления двуокиси серы (табл. 1). Образцы почв взяты вблизи завода (0,5—0,7 км) на склоне сопки с сосново-березовым лесом. У одного образца (0,5 км) верхний гумусовый горизонт (A_1) смыт, у другого (0,7 км) — сохранился.

Некоторые химические показатели горно-лесных почв, сформировавшихся на элюво-делювии серпентинов в связи с расстоянием от медеплавильного завода

Горизонт	Глубина взятия образ- ца, см	Расстояние от завода, км	pH	Гидролити- ческая кис- лотность, м-экв	Содержание, м-экв	
					Ca	Mg
A ₁	1—10	0,5	Горизонт разрушен эрозией 5,8 6,0	20,6	10,0	15,2
		0,7 35,0		0,0	13,2	41,8
A ₂	15—25	0,5	3,5	17,9	3,3	2,4
		0,7 35,0	5,2 7,2	2,0 0,0	4,4 4,2	20,0 47,5
B	30—40	0,5	5,2	2,3	4,2	22,6
		0,7 35,0	5,2 7,4	2,2 0,0	4,8 5,8	24,0 64,9

В качестве контрольной взята сходная по морфологическим признакам маломощная черноземная суглинистая щелнистая почва серпентинитовых сопок из-под сосняка остепненного в Ильменском заповеднике (ИГЗ), отдаленном на 35 км к юго-востоку от завода.

Приведенные данные свидетельствуют о сильном подкисляющем влиянии заводских экскалатов на верхние слои почвы: pH у них достигает величин, присущих очень кислым торфяно-болотным почвам, а гидролитическая кислотность от нулевых показателей возросла до 18—20 м-экв. Одновременно снизилось содержание кальция и особенно магния. Экологическая оценка этих изменений может быть произведена с учетом показателей роста сосны и березы. Хорошо известна способность обоих видов достаточно успешно расти как на подзолистых так и болотных почвах, характеризующихся сильноокислой средой и ограниченным содержанием кальция и магния. Это их свойство, связанное с малой требовательностью к почвенному плодородию, несомненно обеспечивает им возможность произрастания на подкисленных обедненных почвах горных склонов вблизи медеплавильного завода. Обследованный вблизи завода участок, где взяты почвенные образцы, представляет собой сосняк мертвопокровный IV бонитета, в котором 1-й главный ярус сложен сосной (возраст 10—90 лет, средняя высота 13—18 м и диаметр 14—25 см), а 2-й — березой бородавчатой (возраст 20—25 лет), средняя высота 3,5—5 м, диаметр 3—6 см). Ярус сосны сильно разрежен (сомкнутость крон 0,2) в связи с усыханием деревьев (рис. 1) и их вырубкой. Ярус березы, возникший уже в

условиях повышенной загазованности, имеет более высокую (0,5) сомкнутость крон. Столь же низкий бонитет и характер роста присущ сосне и березе на серпентинитовых сопках Ильменского заповедника, откуда взят контрольный образец почвы, что обусловлено общей причиной — недостаточным влагообеспечением маломощных щебнистых почв. Однако вблизи завода годичный прирост побегов у сосны сокращен в 2—3 раза, что можно уверенно связывать с угнетающим воздействием на ее фотосинтетическую деятельность загазованности воздуха. Об этом свидетельствует, в частности, укороченность (на 20—22%) хвои и значительная насыщенность ее мезофилла серой (0,23% от сухого веса против 0,05—0,07% в Ильменском заповеднике). Годичный же прирост березы бородавчатой в насаждениях вблизи завода и в Ильменском заповеднике сходны, варьируясь в границах 14—23 см. Видимо, береза более устойчива и вынослива, что подтверждается ранее опубликованными данными о ее естественном возобновлении в окрестностях этого же завода (Кулагин, 1964). Семена сосны также способны прорасти и давать жизнеспособные всходы на почве, сильно подкисленной в связи с поступлением двуокиси серы ($P_n=3,5$). Но подобные обнадеживающие данные были получены нами в опытах вне воздействия задымления. В условиях систематической загазованности вблизи завода самосев сосны обычно быстро погибает. Он выживает, как указано выше, лишь на участках, достаточно удаленных от очагов загрязнения (1,5—5 км).

Приведенные данные не подтверждают предположения о выщелачивании почвы и резком ухудшении минерального питания древесных растений под влиянием подкисления почвы сернистым газом, высказанного А. Вилером (A. Wiegler, 1912) и поддержанного Н. П. Красинским, (1937) и Х. М. Исаченко (1938). Следует отметить, впрочем, что Х. М. Исаченко признавал справедливость взглядов А. Вилера только в отношении к бедным кислым почвам дерново-подзолистей зоны. На тучные черноземы Донбасса, где работал Х. М. Исаченко, он предположение Вилера не распространил. В нашем случае высокая насыщенность маломощных горно-склоновых почв первичными минералами, обеспечивающими поступление минеральных солей, также препятствует развитию прогрессирующего обеднения почв. Уместно напомнить еще об одном экологически тревожном обстоятельстве, на опасность которого указал А. Немец (A. Nemec, 1954.) По его данным в Южной Чехии гибель лесных культур из сосны, березы, ивы козьей и рябины наблюдается в результате интоксикации их никелем и кобальтом, возникающей на сильнокислых почвах, сформировавшихся на чернифитах (водный силикат никеля и магния). Известкование, снизившее в опытах А. Немца кислотность почв, привело к соответствующему снижению токсичности никеля и кобальта. В нашем случае сильное подкисление почв не сопровождается явлениями интоксикации, что, по-видимому, можно связать с иным, в сравнении с чернифитами, химическим составом серпентинита.

Все изложенное дает нам основание прогнозировать возможность удовлетворительного естественного возобновления березовых и сосновых лесов на горных склонах, окружающих медеплавильный завод, при условии резкого снижения уровня загазованности воздуха.

На магнезитовом заводе пылевидные выбросы состоят в основном из окиси магния, которая при взаимодействии с водой сильно подщелачивает почву, повышая рН в ее верхних слоях до 8—8,6, одновременно резко возрастает содержание магния (табл. 2). Для

Таблица 2

**Некоторые химические показатели серой лесной суглинистой почвы
в связи с расстоянием от магнезитового завода**

Горизонт	Глубина взятия образца, см	Расстояние от завода, км	рН	Содержание, м-экв	
				Ca	Mg
A ₁	5—10	1,0	8,6	2,79	66,96
		4,0	8,6	3,53	54,92
		6,0	6,6	7,99	23,03
A ₂	15—20	1,0	7,6	2,73	29,30
		4,0	7,8	8,83	12,82
		6,0	6,5	6,58	6,37
B	30—40	1,0	6,8	7,67	27,67
		4,0	7,0	11,16	30,00
		6,0	5,7	5,64	5,40
BC	50—70	1,0	7,4	6,98	12,56
		4,0	7,4	9,30	21,39
		6,0	5,4	8,46	6,58

интересующих нас видов лесных деревьев обогащение почвы магнием экологически не опасно. Сосна, лиственница и береза успешно произрастают на почвах с самым различным содержанием кальция и магния. Так, например, в серых лесных слабо оподзоленных почвах Южного Урала на гранито-гнейсах содержание магния составляет всего 3,5 м-экв, что более чем в 6 раз менее содержания кальция. С другой стороны, в вышеупомянутых черноземовидных почвах серпентинитовых сопок Ильменского заповедника содержание магния доходит до 67 м-экв, превышая содержание кальция в 5 раз. В этих крайних случаях рост сосны, лиственницы и березы не показывает какой-либо заметной зависимости от содержания рассматриваемых элементов. Однако в научной литературе высказаны мнения о кальцефобности сосны и березы и магнефильности лиственницы, П. А. Воинов (1935), проводя

вегетационные опыты на сибирском черноземе в условиях г. Омска, установил, что внесение в почву углекислого кальция (до 8%) сильно угнетает однолетние сеянцы березы бородавчатой и сосны обыкновенной и даже может вызвать их гибель. Лиственница же при этом только несколько снижает рост. А. П. Щербаков (1951), обобщая эти и другие данные, также пришел к выводу о том, что береза является чувствительной по отношению к углекислому кальцию и поэтому может быть отнесена в группу кальцефобов. Сосна отличается несколько меньшей кальцефобностью. К иным выводам пришли Т. Г. Чубарян и Л. В. Кеворкова (1960), проводившие опыты на светло-бурой суглинистой окультуренной почве Ереванского ботанического сада с содержанием 5,7% углекислого кальция при $pH=7,3$. Сосну, лиственницу они квалифицируют как виды слабокальцефобные. По березе данных не приводится. Наши наблюдения в Жигулях, на Южном Урале и в лесах Уфимского плато показали, что сосна и береза вполне успешно растут на сильнокарбонатных почвах, развитых на известняках, доломитах и доломитизированных известняках. Об этом же свидетельствуют данные многих геоботанических и лесоводственных работ по разным районам СССР.

В результате проведенных нами полевых опытов (почва-гумусовый горизонт выщелоченного чернозема) выяснено, что сеянцы сосны, лиственницы и березы успешно произрастают при самых различных концентрациях углекислого кальция в почве — от 0,5 до 10%. Оказалось, что при этом pH почвы не превышала 7,14. При внесении же в почву гидрата окиси кальция ее щелочность резко возрастала, при концентрации более 5% pH превышала величину 8. При этом всходы всех трех видов погибают. Устранение губительной щелочности с помощью водного (10%) раствора соляной кислоты возвращало почве благоприятные лесорастительные свойства. Следовательно, точнее следует говорить не о кальцефобности березы и сосны, а о их окисилофильности. Угнетение и отмирание их сеянцев в опытах П. А. Воинова следует связывать с резким повышением щелочности почвы, чему несомненно способствовал и иной исходный химизм сибирских черноземов.

Тезис о магнефилльности лиственницы, в свою очередь, не согласуется с фактами ее успешного роста на богатых магнием (серпентинитах Ильменского заповедника) почвах и на обедненных им почвах, сформировавшихся на миаскитах и гранито-гнейсах восточных предгорий Южного Урала. Лиственница Сукачева во взрослом состоянии проявляет столь же высокую устойчивость к пылевидной окиси магния, как и береза бородавчатая. Сосна в окрестностях магнезитового завода, однако, не выдерживает запыления. Но если по отношению к воздушной среде, загрязненной окисью магния, сосна существенно отличается от лиственницы и березы, то к подщелоченной почве их отношение одинаково отрицательно. Опыты с выращиванием сеянцев на серой лесной суглинистой почве, загрязненной в разной степени окисью магния и при

разных уровнях рН, показали следующее. При рН, равной 8,4, всходы всех трех видов погибли. При рН 7,88 высота растений и весовые показатели надземных органов и корней сеянцев сосны, лиственницы и березы снизились в 1,5—2 раза. Эти показатели при рН 6,78 оказались весьма близкими к данным, полученным в контрольном варианте на почве с рН 6,21. Иначе говоря, сеянцы всех трех видов проявили четкую базифобность и локализацию оптимума роста к условиям околонеutralной и умеренно кислой почвенной среды. В опытах с искусственным загрязнением почвы окисью магния, имитирующим запахку магнезитовой пыли на глубину 5 см, сеянцы березы снизили высоту стеблей в 4 раза, а вес надземных органов и корневых систем — в 10—30 раз. В то же время сеянцы сосны и лиственницы проявили несколько большую устойчивость, снизив высоту стеблей и весовые показатели всего в 1,5—2 раза. Предпосылкой большей угнетаемости березы по сравнению с сосной и лиственницей является меньший вес ее семян и, очевидно, меньшее количество питательных веществ, необходимых для развития проростков.

Следует подчеркнуть, что щелочность почвы оказывает вредное воздействие на рост растений, очевидно, через резкое торможение процесса поступления питательных минеральных солей из почвы. Для лесных деревьев, минеральное питание которых связано с жизнедеятельностью микоризообразователей, подщелачивание особенно опасно, так как микоризообразующие грибы сосны, лиственницы и березы обладают ярко выраженной оксифильностью (Лобанов, 1953). К выводу о существенном значении высокой щелочности почв для объяснения гибели лесных растений вблизи магнезитовых заводов Словакии пришел также Е. Бублинец (Е. Bublinec, 1971).

В зоне сильного магнезитового запыления естественное семенное возобновление отсутствует не только у отмирающей сосны, но и у достаточно пылеустойчивых березы и лиственницы. В зоне слабого запыления с менее измененной почвой (рН верхних 5 см почвенного слоя 7,25, в горизонте A_2 — 6,86, В — 6,57 и ВС — 6,51), несмотря на непрекращающееся запыление, уже встречаются их естественное возобновление. Так, под пологом сильно изреженного рубками сосняка бруснично-коротконожкового на 1 га отмечено до 500 сеянцев березы бородавчатой, 2000 — лиственницы и 15 550 — сосны в возрасте 1—5 лет.

Изложенный материал свидетельствует о губительном влиянии на сеянцы лесообразующих видов высокой щелочности почв, возникающей в результате поступления в них магнезитовой пыли. Устранение щелочности путем внесения в посевные или посадочные места лесной слабокислой почвы, торфа или посредством химических мелиораций с помощью водных растворов кислот позволит создать условия, благоприятные для массового лесовосстановления. Конечно, это возможно только в том случае, если будет устранено новое поступление в почву магнезитовой пыли, т. е. пре-

кращен ее массовый выброс в атмосферу. Кроме того, следует предостеречь против повышения примеси в магнезитовой руде карбонатов, что предусматривается в настоящее время технологическим процессом на заводе. При обжиге руды карбонаты образуют окись кальция, которая при взаимодействии с водой образует более сильную и, главное, более чем в 60 раз по сравнению с гидратом окиси магния, растворимую щелочь. Если в настоящее время критический уровень щелочности в почве (рН 7,5) не опускается глубже 0,5 м, то при осаждении на почву окиси кальция вся толща почво-грунта станет сильно щелочной и, следовательно, в лесорастительном отношении окажется совершенно не пригодной. Будущие лесные мелиорации на загрязненных запыленных почвах в этом случае неизбежно окажутся более трудоемкими и дорогими.

ВЫВОДЫ

1. Длительное воздействие промышленных дымовых выбросов способно существенно изменить лесорастительные свойства почв; особенно заметные изменения претерпевает верхний почвенный горизонт.

2. Двуокись серы сильно подкисляет почву, приводит к ее обеднению кальцием и магнием. Это, однако, не препятствует поселению и удовлетворительному росту молодой сосны и березы. Насыщенность маломощных горносклоновых почв первичными минералами и обломками горных пород тормозит процесс обеднения питательными минеральными солями, а четко выраженная оксифильность сосны и березы обеспечивает их относительно нормальное развитие.

3. Поступление в почву окиси магния сопровождается значительным возрастанием их щелочности и обогащением магнием. Базифобность сосны, лиственницы и березы в сочетании с их оксифильностью требует для нормализации лесорастительных условий проведения мелиораций, имеющих целью воссоздание кислой почвенной среды.

4. Изменения в соотношении содержания в почве кальция и магния не могут быть причиной угнетенного роста и гибели сосны, лиственницы и березы, если они одновременно не сопровождаются изменениями в соотношении водородных и гидроксильных ионов.

5. Резкое сокращение или, еще лучше, полное прекращение выброса в атмосферу токсичных соединений позволило бы с успехом приступить к лесовосстановлению на горных склонах в окрестностях медеплавильного и магнезитового заводов на Южном Урале. В первом случае основные усилия лесомелиораторов целесообразно направить на содействие естественному лесовозобновительному процессу, во втором — на создание лесных культур. В качестве лесообразователей следует использовать сосну, лиственницу и березу бородавчатую.

ЛИТЕРАТУРА

Агрохимические методы исследования почв. 1954. М., АН СССР.

Богатырев К. П., 1940. Генезис почв на кристаллических и массивно-кристаллических породах, слагающих Ильменский заповедник. «Тр. Ильменского гос. заповедника», вып. 2. М.

Воинов П. А., 1935. К биологии стойких в наших условиях древесных пород. Сообщение 3. Отношение семян сосны, лиственницы, березы и американского клена к углекислому кальцию. «Тр. Омского с.-х. ин-та», 1, № 5.

Исаченко Х. М., 1938. Влияние задымляемости на рост и состояние древесной растительности. «Сов. ботаника», № 1.

Колесников Б. П., 1961. Очерк растительности Челябинской области в связи с ее геоботаническим районированием. «Тр. Ильменского гос. заповедника», вып. 8. Свердловск, УФАН СССР.

Красинский Н. П., 1937. Озеленение промплощадок дымоустойчивым ассортиментом. М., «Власть Советов».

Кулагин Ю. З., 1964. Семенное возобновление сосны и березы в промышленных районах Южного Урала. «Тр. Башкирской лесной опытной станции», вып. 7. Уфа.

Лобанов Н. В., 1953. Микотрофность древесных растений. М., «Сов. наука».

Немец А., 1954. Гибель лесных культур на серпентиновых почвах в Южной Чехии под влиянием интоксикации никелем, кобальтом и хромом. «Тр. научно-исслед. ин-тов лесного хозяйства Чехословакии», т. 6. Прага.

Чубарян Т. Г., Кеверкова Л. В., 1960. Влияние карбонатности и реакции почвы на жизнедеятельность и рост семян некоторых хвойных. «Докл. АН Арм. ССР», 31, № 3.

Шербаков А. П., 1951. Минеральное питание семян древесных пород как фактор их роста и развития. В сб. «Научные основы лесозащитного лесоразведения», вып. 1. М., АН СССР.

Bublinec E., 1971. Vplyv exhalatov z magnezitick na reakciu pody a vyzivu lesnych drevin. "Lesnický časopis". Rok 17. Číslo 1. Vyskumny ústav lesného hospodárstva, Zvoler.

Wieler A., 1912. Pflanzenwachstum und Kalkmangel in Boden — Berlin.